

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МОНОБЛОЧНОГО КОЛЛИМАТОРНОГО ПРИЦЕЛА

Сенаторов Н.В., инж. (КП «ЦКБ «Арсенал», г. Киев),
Микитенко В.И. канд. тех. наук (НТУУ «Киевский
политехнический институт»)

Авторы предлагают методику оптимизации конструкции линзового моноблочного коллиматорного прицела на основе анализа частных показателей качества, связанных с диаметром и длиной моноблока.

Автори пропонують методику оптимізації конструкції лінзового моноблокового коліimatorного приціла на основі аналізу часткових показників якості, які пов'язані з діаметром та довжиною моноблока.

Authors propose methodic for construction optimization of Lens monoblock collimator sight on base of particular quality indexes analysis associated with it diameter and length.

Как было отмечено в работе [1], сопоставление и ранжирование конкретных образцов коллиматорных прицелов (КП) возможно проводить по комплексу девяти частных показателей качества K_i , учитывающих массово-габаритные (K_1 - длину, K_2 - высоту, K_3 - ширину и K_4 - массу), эргономические (K_5 - яркость, K_6 , K_7 - диаметр и удаление выходного зрачка) и эксплуатационные (K_8 - параллакс, K_9 - количество оптических деталей, которые влияют на надёжность) характеристики прицелов, вида

$$K_i = (P_{\max} - P_i) / (P_{\max} - P_{\min}),$$

если предпочтительно минимальное значение параметра P_{\min} ; либо вида

$$K_i = (P_i - P_{\min}) / (P_{\max} - P_{\min}),$$

если предпочтительно максимальное значение параметра P_{\max} . Здесь P_i – сравниваемый параметр. Кроме этого, целесообразно использовать обобщенный показатель качества вида

$$K_{\Sigma} = \Sigma K_i / N,$$

где N – количество частных показателей при условии равенства единице их весовых коэффициентов. С точки зрения разработчика прицела это допустимо для определённой оптической схемы без привязки к конкретному виду оружия.

В таблице 1 приведены характеристики ряда прицелов, взятые из проспектов фирм – разработчиков, и вычисленные значения K_{Σ} . На основании анализа этой таблицы можно сделать следующий вывод: преимущество по обобщенному показателю имеют малогабаритные линзовые схемы, на базе которых созданы украинский прицел «САЛ-1» (разработчик КП «КБ «Спецтехника») и белорусский прицел ПСК-8 (разработчик БелОМО). Заметное преимущество прицела «САЛ-1» обеспечено целиком за счёт его моноблочной структуры [2,3], позволившей достичь высоких показателей K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_9 .

Таким образом, моноблочную линзовую схему (рис.) можно отнести к наиболее перспективным при создании современных оптических прицелов для автоматического и личного стрелкового оружия.

Проблемный вопрос при создании прицела на базе этой схемы – оптимальный диаметр D моноблока и его длина t . Дело в том, что параметр D одновременно влияет на габариты, массу, диаметр выходного зрачка и точность прицела. Диаметр выходного зрачка при наблюдении прицельной сетки в виде точки соизмерим с величиной D , но его увеличение, которое благоприятствует условиям наблюдения, приводит к ухудшению остальных трёх характеристик. Масса моноблока при его круглой апертуре определяется по формуле

$$M = 0,25 \pi t \rho D^2, \quad (1)$$

где: t – длина моноблока, ρ – удельный вес стекла. Погрешность углового положения линии прицеливания определяется по формуле [4]

$$\delta = 62,5 (D/t)^3 (n-1)^{-2} [\text{мрад}], \quad (2)$$

где: n – показатель преломления материала моноблока.

Ограничив величину D диапазоном 0,8...3,3 см (соответствует диапазону реальных значений диаметра выходного зрачка существующих КП; см. таблицу 1) находим выражения для частных показателей качества, которые связаны с этим параметром:

$$\begin{aligned} K_2 = K_3 &= 1,32 - 0,4 D; \\ K_4 &= 1,06 - 0,1 D^2; \\ K_6 &= 0,4 D - 0,32; \\ K_8 &= 1,01 - 0,03 D^3. \end{aligned} \quad (3)$$

Выбрав в качестве критерия оптимальности максимум функции $K_{\Sigma} = f(D)$ для разрешения противоречия между диаметром выходного зрачка и массой моноблока, представим выражение обобщённого показателя в виде

$$K_{\Sigma} = (K_4 + K_6)/2 = 0,37 + 0,2 D - 0,05 D^2.$$

Оптимальное значение параметра D определяется функцией

$$\partial K_{\Sigma} / \partial D = 0,2 - 0,1 D_{\text{opt}} = 0.$$

Решение этого уравнения даёт значение $D_{\text{opt}} = 2,0$ см.

Для оптимизации диаметра выходного зрачка с учетом погрешности углового положения линии прицеливания запишем выражение обобщённого показателя для этого случая:

$$K_{\Sigma} = (K_6 + K_8)/2 = 0,35 + 0,2 D - 0,015 D^3.$$

Оптимальное значение параметра D определяется функцией

$$\partial K_{\Sigma} / \partial D = 0,2 - 0,045 D_{\text{opt}}^2 = 0.$$

Решение этого уравнения даёт искомое значение $D_{\text{opt}} = 2,11$ см.

Для оптимизации диаметра выходного зрачка с учетом габарита найдём величину D , исходя из равенства

$$(K_2 + K_3)/2 = K_6.$$

После подстановки в это равенство выражений (3) для K_2 , K_3 и K_6 получаем $D_{opt} = 2,05$ см.

Для оптимизации диаметра выходного зрачка с учетом одновременно массы моноблока и погрешности углового положения линии прицеливания, представим выражение обобщённого показателя в виде

$$K_{\Sigma} = (K_4 + K_6 + K_8)/3 = 0,58 + 0,13 D - 0,03 D^2 - 0,01 D^3.$$

В этом случае оптимальное значение параметра D определяется функцией

$$\partial K_{\Sigma}/\partial D = 0,13 - 0,06 D_{opt} - 0,03 D_{opt}^2 = 0.$$

Решение этого уравнения даёт искомое значение $D_{opt} = 1,31$ см.

С другой стороны, как следует из (1) и (2), параметр t также одновременно влияет на массу и точность прицела и определяет его длину. Увеличение t благоприятно сказывается на точности, но приводит к ухудшению двух других характеристик.

Ограничив параметр t диапазоном 6,9...20 см (соответствует диапазону реальных значений длины существующих КП; см. таблицу 1) и условно приняв диаметр моноблока равным 1,5 см (реальный размер диагонали моноблока прицела «САЛ-1»), находим выражения для частных показателей качества, которые связаны с этим параметром:

$$K_1 = K_4 = 1,53 - 0,145 t;$$

$$K_8 = 1,04 - 342,6 t^{-3}.$$

Выбрав в качестве критерия оптимальности максимум функции $K_{\Sigma} = f(t)$, для оптимизации длины моноблока с учетом точности и массы, запишем выражение обобщённого показателя в виде:

$$K_{\Sigma} = (K_{1(4)} + K_8)/2 = 1,3 - 0,073 t - 171,3 t^{-3}.$$

Оптимальное значение параметра t определяется функцией

$$\partial K_{\Sigma}/\partial D = -0,073 + 513,9 t_{opt}^{-4} = 0.$$

Решение этого уравнения даёт искомое значение $t_{opt} = 9,2$ см.

Для устранения противоречия между точностью с одной стороны и одновременно массой и длиной моноблока с другой стороны представим выражение K_{Σ} в виде:

$$K_{\Sigma} = (K_1 + K_4 + K_8)/3 = 1,37 - 0,097 t - 114,2 t^{-3}.$$

В этом случае оптимальное значение параметра t определяется функцией

$$\partial K_{\Sigma}/\partial t = -0,097 + 342,6 t^{-4} = 0,$$

и решение этого уравнения даёт искомое значение $t_{opt} = 7,7$ см.

Не понял, в чем различие t_{opt} ?

В таблице 2 во второй строке представлены возможные варианты оптимальных значений диаметра моноблока как компромисса между диаметром выходного зрачка, массой, габаритами и точностью моноблока; в третьей строке здесь же даны варианты оптимальных значений длины моноблока как компромисса между точностью, массой и габаритами моноблока.

Таблица 2

	Масса	Габариты	Точность	Масса + точность	Масса + габариты
Диаметр зрачка	20 мм	20,5 мм	21,1 мм	13,1 мм	-
Точность	92 мм	92 мм	-	-	77 мм

При разработке моноблочного прицела для конкретного вида оружия в первую очередь необходимо установить приоритет (весовой коэффициент) каждой характеристики и определить, компромиссы между какими характеристика следует устранять. Затем, пользуясь таблицей, выбирать диаметр и длину моноблока.

Например, для нахождения компромиссов между диаметром выходного зрачка, точностью и массой, оптимальная конструкция моноблочного прицела должна иметь следующие характеристики:

- диаметр – 20 мм (12 x 16 мм при прямоугольной апертуре с отношением сторон 3: 4);
- длина – 92 мм.

При этом остальные характеристики моноблока из стекла марки К8 ($n = 1,5183$; $\rho = 2,52 \text{ г/см}^3$) составят:

- масса – 72 г (44,5 г при прямоугольной апертуре);
- предельная параллактическая ошибка 2,4 мрад;
- диаметр выходного зрачка – 20 мм.

Литература

1. Микитенко В.И., Сенаторов Н.В. Классификация и методика сопоставительного анализа оптических схем коллиматорных прицелов// Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-техн. сб.- Киев: НТЦ АСВ.- 2002.- Вып. 7. - С. __-__.
2. Сенаторов Н.В. Моноблочный коллиматорный прицел для стрелкового оружия// Зб. праць 4-ї Міжнарод. конф. “Артилерійські ствольні системи, боєприпаси, засоби артилерійської розвідки та керування вогнем”.- К.: НТЦ АСО, 2000. – С.194-199.
3. Сенаторов Н.В., Алексеенко И.М. Принцип блочно-модульного комплексирования стрелкового оружия с оптическим прицелом// Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-техн. сб.- Киев: НТЦ АСВ.- 2001.- Вып. 4. - С. 70 - 72.
4. Сенаторов Н.В. Оптические прицелы для стрелкового оружия// Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-техн. сб.- Киев: НТЦ АСВ.- 2001.- Вып. 3. - С. 91 - 94.